

## Technical Article

## フライバック電源のクロスレギュレーションを改善する同期整流器



Brian King

フライバックは、単一の電源から複数の出力を生成する必要があるシステムにおいて、最適なトポロジーの一つです。各トランスの巻線にかかる電圧は、その巻数に比例するため、必要な巻数を設定するだけで各出力電圧を決定できます。理想的な条件では、1つの出力電圧を制御するだけで、他の出力も巻数比に応じてスケールされ、同様に安定します。

しかし実際には、寄生要素の影響により、非制御出力の負荷レギュレーションは低下します。Power Tip 72では、Robert Kollmanが整流器の順方向電圧降下によって生じるレギュレーション誤差の計算方法を紹介しました。今回のPower Tipでは、寄生インダクタンスの影響をさらに掘り下げ、ダイオードの代わりに同期整流を用いることで、フライバック電源におけるクロスレギュレーションが大幅に改善できることを示します。

たとえば、図1の簡易シミュレーションモデルに示すように、48V入力から12V/1A出力を2系統生成するフライバックを考えてみましょう。理想ダイオードモデルでは、順方向電圧降下はゼロで、抵抗は無視できるほど小さいと仮定します。トランスの巻線抵抗は無視し、トランスリードと直列の寄生インダクタンスのみをモデル化しています。これらのインダクタンスは、トランスの漏れインダクタンスに加え、プリント基板(PCB)の配線やダイオードに存在する寄生インダクタンスを表します。これらのインダクタンスを設定すると、2つの出力は完全に一致します。これは、スイッチングサイクルの(1-D)区間でダイオードが導通するとき、トランスの完全結合によって両出力が等しくなるためです。

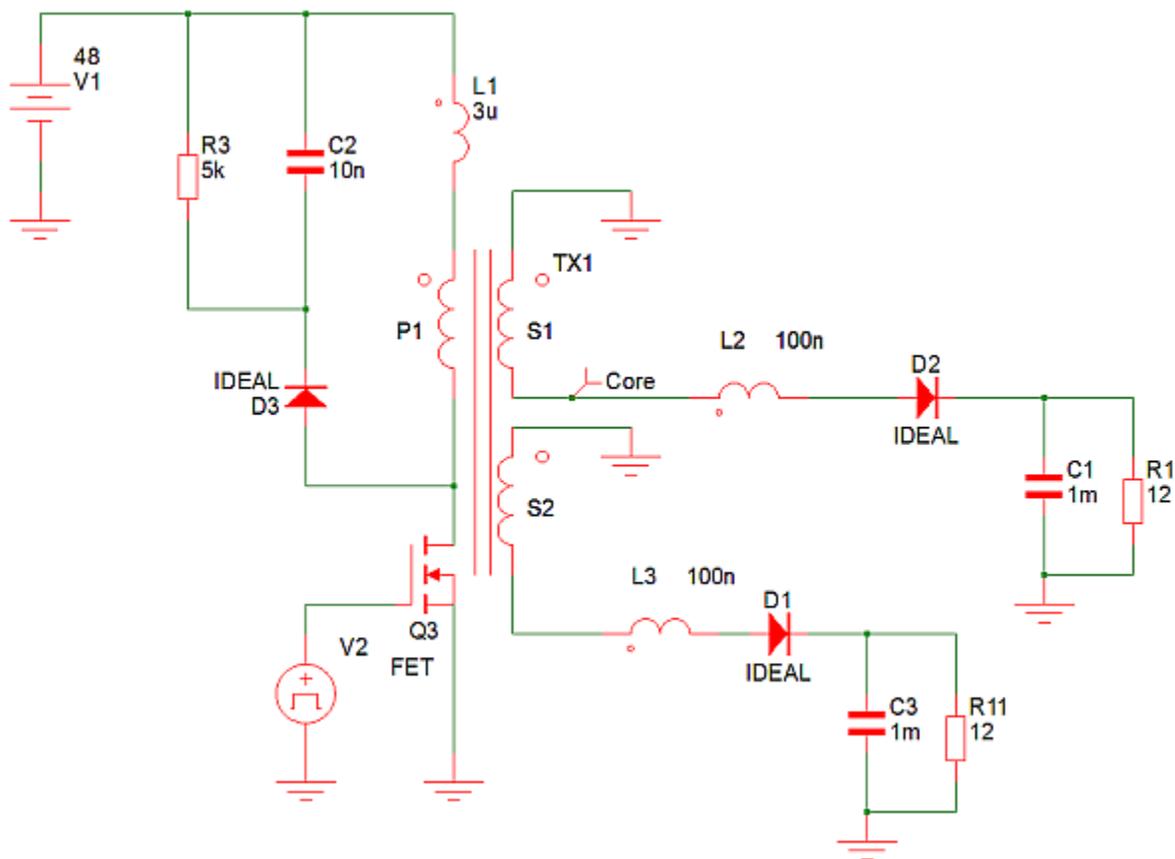


図 1. 簡略化されたフライバックモデルは、漏れインダクタンスが出力電圧制御に与える影響をシミュレーション回路図。

ここで、トランスの二次側リードの両方に 100nH の漏れインダクタンスを導入すると、1 次巻線と直列で 3 $\mu$ H の漏れインダクタンスを加えた場合を考えます。これらのインダクタンスは、電流パス内に存在する寄生インダクタンスをモデル化しており、トランス内部の漏れインダクタンスだけでなく、PCB やその他の部品に存在するインダクタンスも含まれます。1 次側電界効果トランジスタ (FET) がオフになると、1 次側漏れインダクタンスには依然として電流が流れ、2 次側リーク インダクタンスは 1-D 周期を初期条件 0A で開始します。トランスの磁気コアには全巻線に共通のペDESTAL 電圧が現れます。このペDESTAL 電圧により、1 次側リーク電流の電流は 0A まで減少し、2 次側リーク電流は上昇して負荷に電流を供給します。

両方の出力に大きな負荷をかけると、1-D 期間全体にわたって電流は流れ続け、出力電圧は適切に平衡になります (図 2 参照)。ただし、一方の出力に大きな負荷をかけ、もう一方の出力に軽い負荷をかけた場合、軽負荷出力の出力コンデンサは、このペDESTAL 電圧からのピーク充電になる傾向があります。電流が急速にゼロに戻るため、その出力ダイオードは導通しなくなります。図 3 の波形を参照してください。これらの寄生インダクタンスによるピーク充電のクロスレギュレーションの影響は、整流器の順方向電圧降下のみの影響よりも通常はるかに大きくなります。

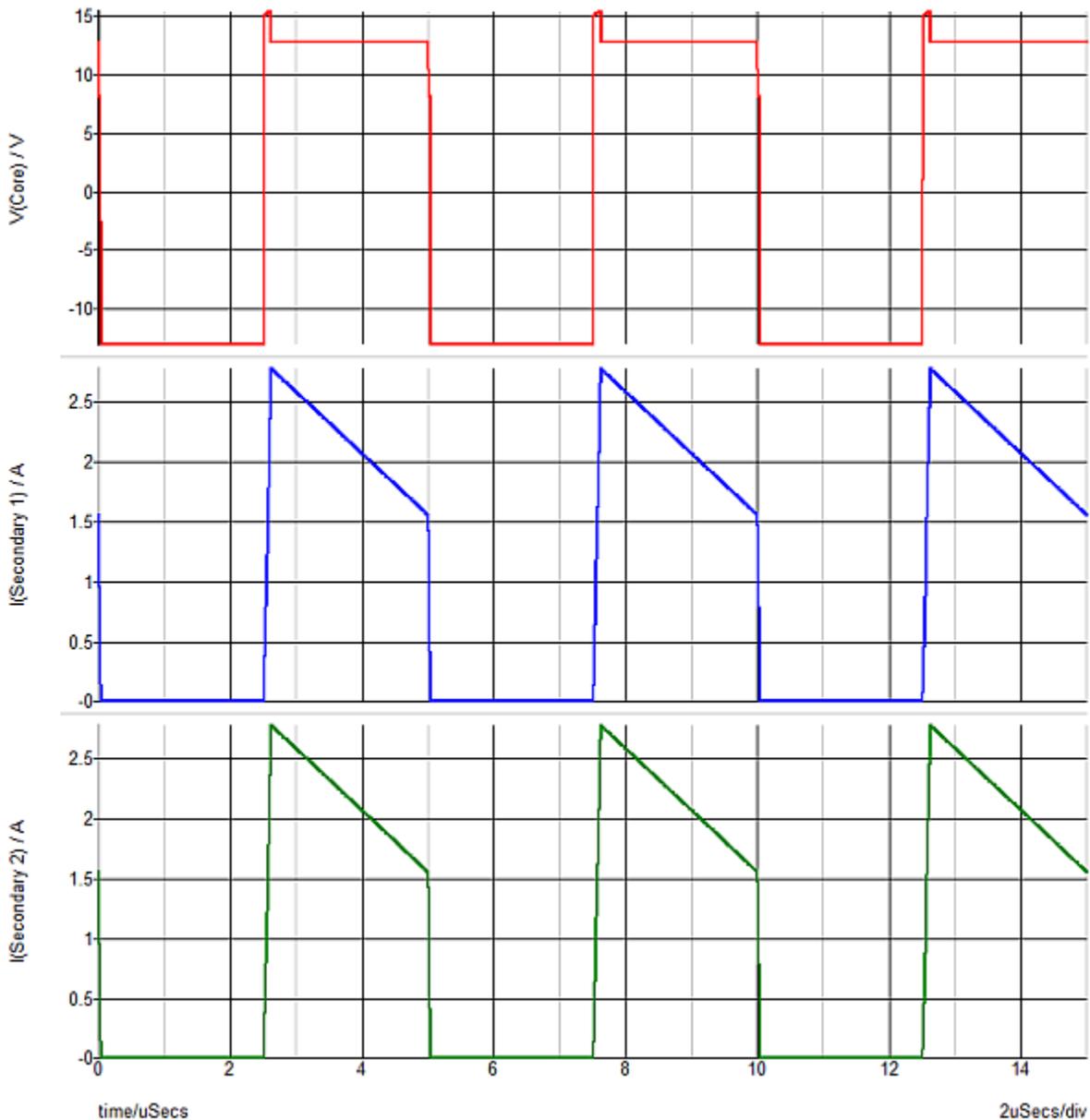
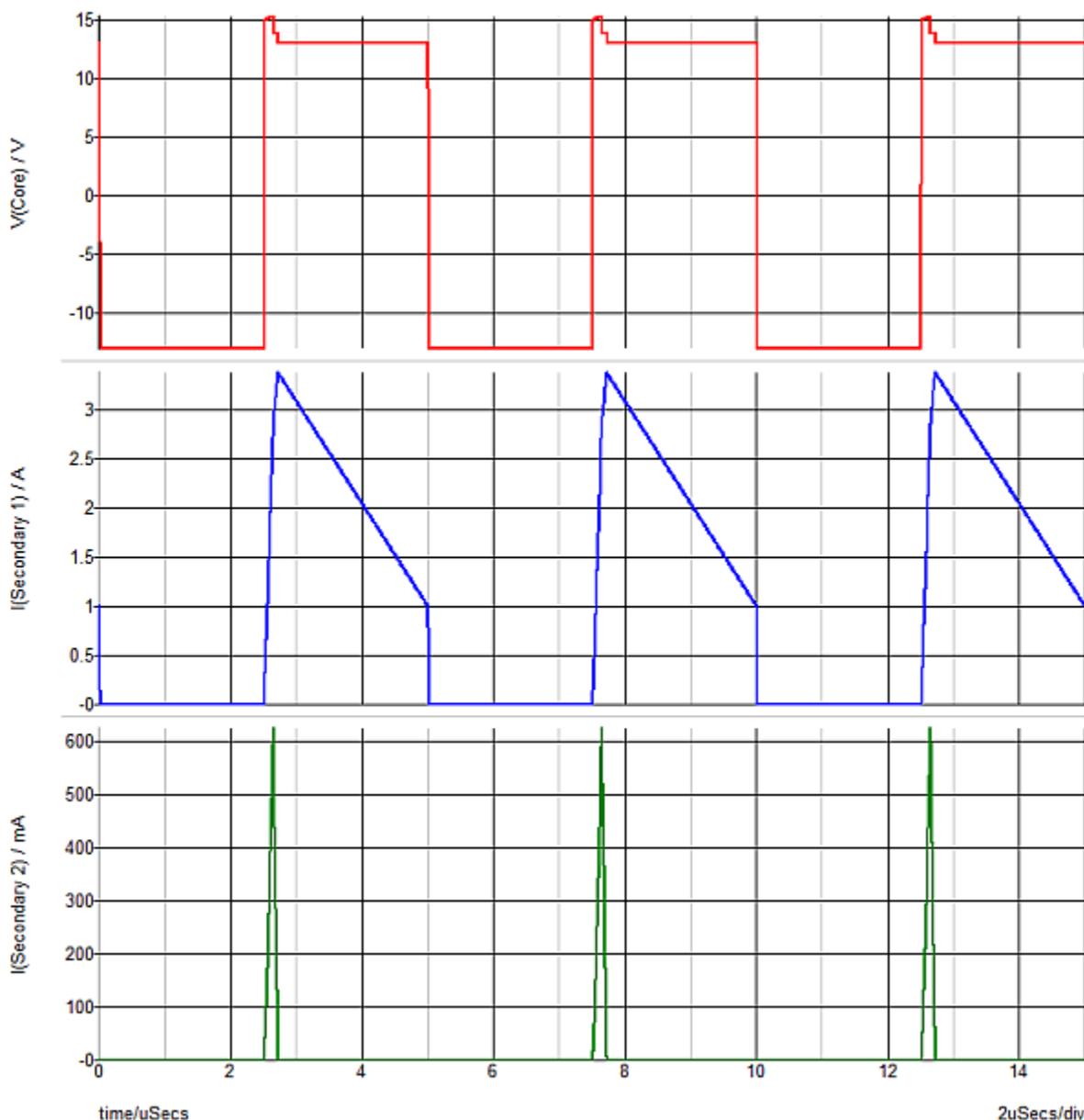


図 2. 両方の出力に大きな負荷を印加すると、1-D 期間全体にわたって 2 次側巻線電流が両方の 2 次側巻線に流れます。上側の赤いトレースにペDESTAL 電圧が確認できます。



**図 3. 負荷が大きい 2 次側 1 と負荷が軽い 2 次側 2。デスタル電圧が 2 次側 2 の出力コンデンサをピーク充電します。**

同期整流器は、1-D 周期全体にわたって両方の巻線に電流を強制的に流すことで、負荷にかかわらずこの問題を軽減するのに役立ちます。図 4 は、図 3 と同じ負荷条件での波形を示しますが、理想的なダイオードを理想的な同期整流器で置き換えています。ペDESTAL 電圧が低下した後も、同期整流器はオンの状態を保つため、非常に不均衡な負荷があっても、2 つの出力電圧は良好に互い追従します。

2 次側 2 の平均電流は非常に小さいですが、実効値 (RMS) は依然としてかなり大きくなる可能性があります。これは、図 3 の理想ダイオードとは異なり、同期整流器は 1-D 周期全体にわたって連続的な流れを強制するためです。興味深いことに、平均電流値を低く保つために、この期間の大部分の間、電流が負方向でなければなりません。

明らかに、より高い循環電流のためにより良いレギュレーションを受け入れることとなります。ただし、これは必ずしも全体的な損失増加につながるとは限りません。同期整流器の順方向電圧降下は通常、ダイオードよりもはるかに低いため、同期整流器を使用する負荷が重い場合、効率は大幅に向上するのが一般的です。

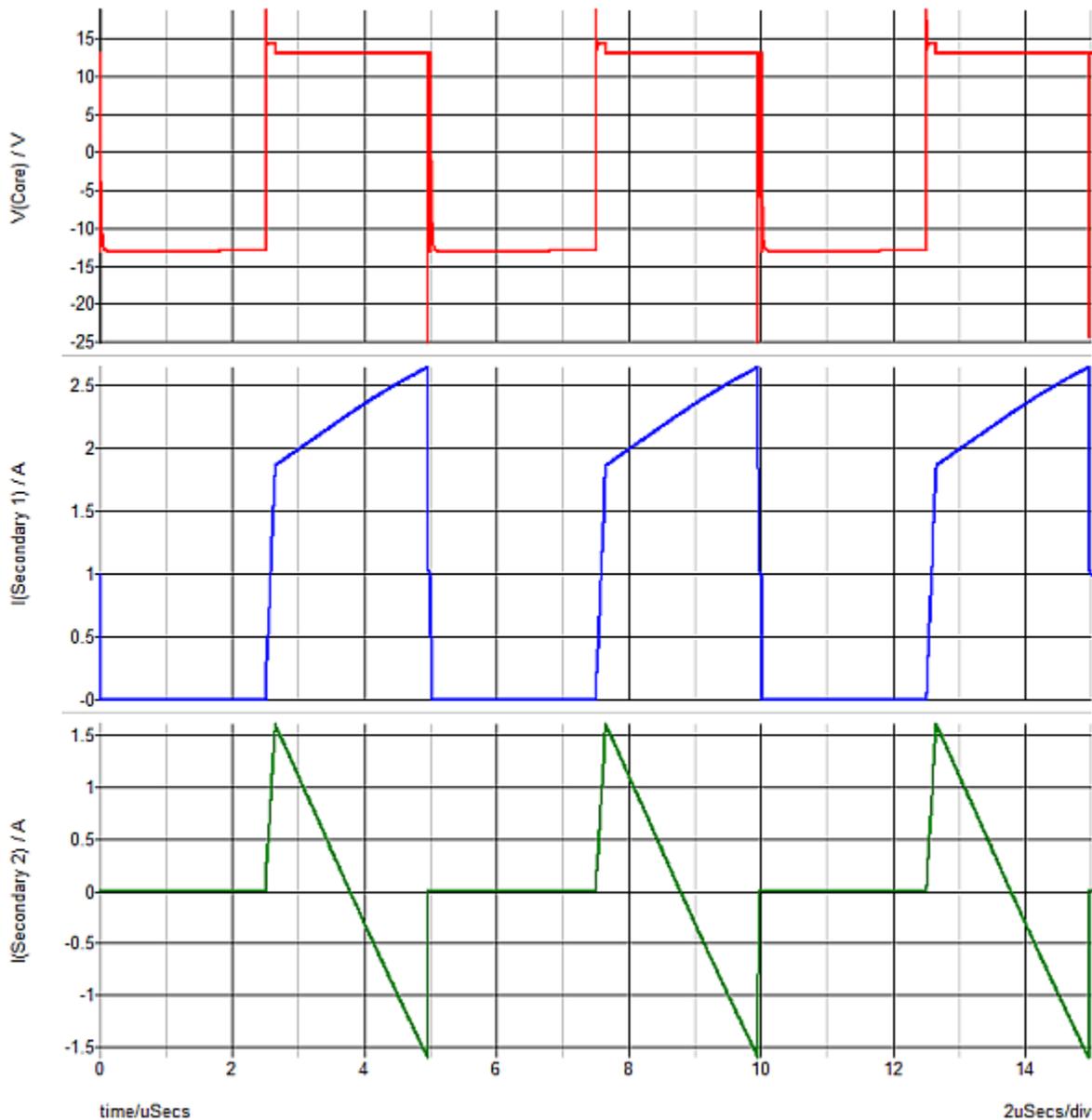


図 4. ダイオードを同期整流器に置き換えると、両方の 2 次巻線に強制的に電流が流れ、ペDESTAL 電圧からのピーク充電が除去されます。

クロスレギュレーションへの影響については、図 5 で確認できます。ここでは、出力 1 の負荷は 1A で固定され、出力 2 の負荷は 10mA から 1A まで変化しています。100mA 未満の負荷では、ペDESTAL 電圧によるピーク充電の影響で、ダイオードを使用するとクロスレギュレーションは大幅に低下します。

ここで示しているのは漏れインダクタンスの影響であり、シミュレーションでは理想的なダイオードおよび理想的な同期整流器を使用しています。抵抗性降下と整流器の順方向電圧降下の影響を考慮すると、『Power Tip 72』に要約されているように、同期整流器を使用する利点はさらに大きくなります。

したがって、複数出力のフライバック電源で優れたクロスレギュレーションを実現するには、同期整流器の使用を検討してください。追加の利点として、供給の効率も向上も期待できます。同期整流器を用いたフライバック電源の例としては、TI の 40V ~ 60V 入力、40W デュアル出力の絶縁型フライバック コンバータ (6V@4.33A) や PoE アプリケーション向け Class 3 デュアル 出力の絶縁型フライバック コンバータ リファレンス デザインをご確認ください。

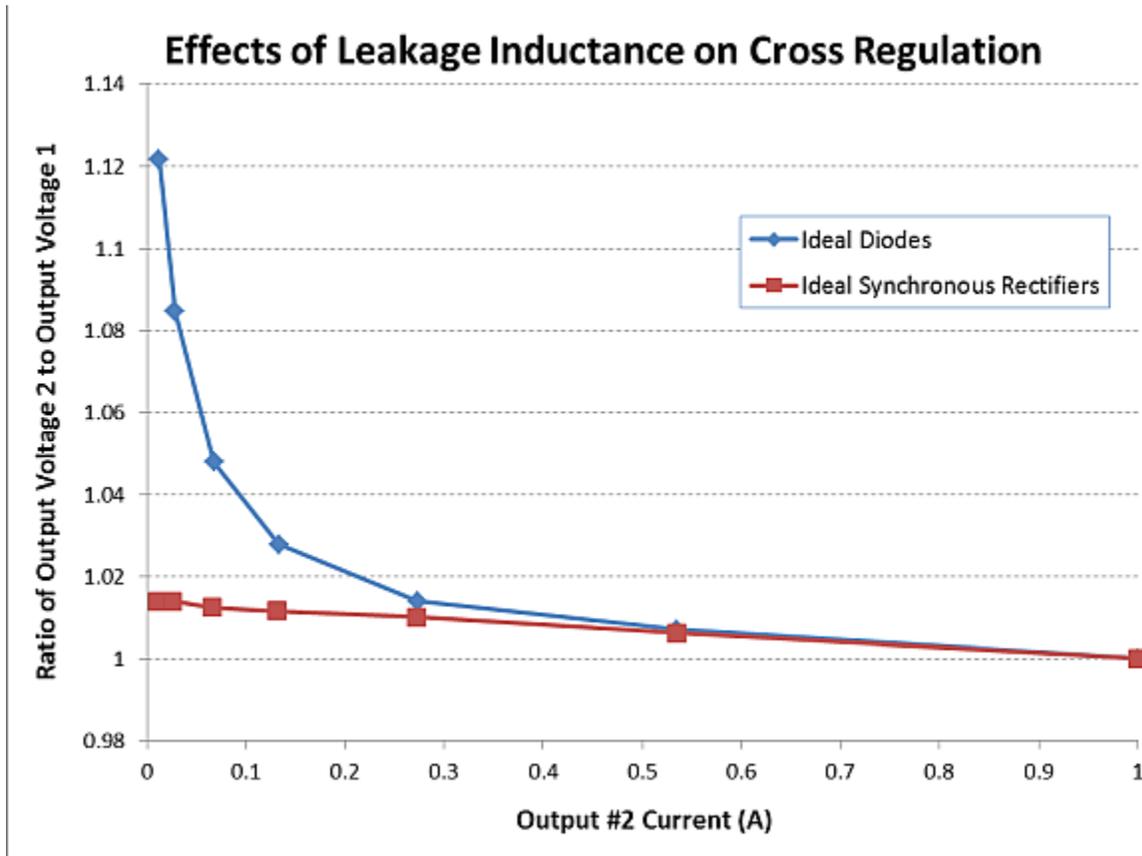


図 5. このプロットは、出力 1 に 1A の一定負荷をかけたまま出力 2 の負荷を変化させたときの、両出力間のクロスレギュレーションを示しています。これにより、同期整流器によって漏れインダクタンスの影響をどのように緩和するかがわかります。

その他の Power Tips については、Power House で TI の [Power Tips ブログ シリーズ](#) をご覧ください。

その他の資料:

- [ビデオ、トポロジのチュートリアル:フライバックとは](#)
- TI の [Fly-Buck / フライバック選択ツール](#) をダウンロードして、仕様に基づいて適切な絶縁型 DC/DC トポロジを選択してください。

次の資料もご覧ください:

- [Power Tip 72: 複数の出力フライバックに最適な整流器を選択できます](#)
- [方法により、同期整流器のセルフ タイミングを利用できます](#)
- [同期整流を採用すると、電力損失の低減を通じて効率を向上させることができます](#)
- [LLC 同期整流を簡単に、堅牢性、効率をいっそう向上させました](#)

この記事は、以前 EDN.com で公開された記事です。

## 商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

## 重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツはその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。テキサス・インスツルメンツや第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツの保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

## 重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、技術データと信頼性データ(データシートを含みます)、設計リソース(リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適したテキサス・インスツルメンツ製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとし、ます。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されているテキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツはその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。テキサス・インスツルメンツや第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかるテキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツの保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated